

## НЕСТАБІЛЬНІСТЬ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Лебедєв А.Т., д.т.н., проф., Шуляк М.Л.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

Кот О.В.

*Харківська філія УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого*

*Обґрунтовано нестійкість динамічних параметрів поступального руху тракторного агрегату при зміні швидкості його руху та енергоємності технологічної операції.*

**Вступ.** Забезпечення динамічної стабільності руху тракторного агрегату направлено на вирішення проблеми підвищення його експлуатаційних показників на несталих (перехідних) режимах роботи (розгін, зміна швидкості руху на гонах, тощо). У цьому зв'язку напрям досліджень з оцінки нестійких динамічних параметрів поступального руху тракторного агрегату на гонах є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В основу відомих досліджень по динаміці технічних систем [1], до яких відноситься тракторний агрегат [2, 3], покладено аналіз режимів їх роботи за умови стабільності динамічних параметрів. Однак, при несталих режимах роботи тракторного агрегату, зміну умов його функціонування, тощо дані параметри нестійкі, на що звернуто увагу в роботах [4, 5].

**Мета дослідження** передбачає оцінку нестійкості динамічних параметрів тракторного агрегату при виконанні певного технологічного процесу.

**Результати дослідження.** Тракторний агрегат розглянуто як автономну динамічну систему при зміні сили опору його руху і кількості енергії, яка використовується для руху. Ці дії, як правило, викликають зміну швидкості  $V$  поступального руху тракторного агрегату, що характеризується рівнянням

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_k - \sum R_c}{m_{a2}}, \quad (1)$$

де:  $P_k$  – рушійна сила агрегату (дотична сила тяги трактора);

$\sum R_c$  – сума сил опору руху агрегату;

$m_{a2}$  – приведена маса тракторного агрегату.

В рівнянні (1) з достатнім наближенням можна прийняти постійною наведену масу тракторного агрегату ( $m_{a2} = const$ ). Сили опору руху тракторного агрегату в процесі роботи залежать від факторів, багато з яких є

змінними, наприклад стан ґрунту і рельєф місцевості, фізико-механічні властивості оброблюваного ґрунту, глибина обробки, швидкісний режим руху, тощо. Відповідно до зміни сил опору змінюється і рушійна сила агрегату, тобто  $dv/dt$  при виконанні тракторним агрегатом певного технологічного процесу безперервно змінюється як за величиною, так і за знаком.

Найбільший вплив на опір руху агрегату має швидкість його руху [6], внаслідок чого ця залежність може бути лінеаризована як монотонна безперервна функція. Тому розкладання в ряд Фур'є опору руху агрегату може бути представлено рівністю

$$\sum R_c = \sum R_{cy} + \frac{\partial \sum R_c}{\partial v} \Delta v + \Delta \sum R_c, \quad (2)$$

де:  $\sum R_{cy}$  – усталене значення опору;  
 $\partial \sum R_c / \partial v$  – значення похідної в точці усталеного режиму руху;  
 $\Delta v$  – абсолютне відхилення швидкості агрегату;  
 $\Delta \sum R_c$  – відхилення сили опору, що залежить від рельєфу місцевості.

Рушійну силу агрегату з достатнім наближенням можна вважати безперервною і монотонною функцією швидкості, яка може бути розкладена у вигляді

$$P_\kappa = P_{\kappa y} + \frac{\partial P_\kappa}{\partial v} \Delta v + \Delta P_{\kappa 1}, \quad (3)$$

де:  $P_{\kappa y}$  – усталене значення рушійної сили агрегату;  
 $\partial P_\kappa / \partial v$  – значення похідної в точці усталеного режиму;  
 $\Delta P_{\kappa 1}$  – зміна рушійної сили внаслідок впливу на неї всіх факторів, наприклад теплотворної здатності палива, крім швидкості

Підставляючи значення  $\sum R_c$  та  $P_\kappa$  в рівняння (1) і маючи на увазі, що  $\sum R_{cy} = P_{\kappa y}$ , отримаємо

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{m_{a2}} \left( \frac{\partial P_\kappa}{\partial v} - \frac{\partial \sum R_c}{\partial v} \right) \Delta v + \frac{1}{m_{a2}} (\Delta P_{\kappa 1} - \Delta \sum R_{ci}) \quad (4)$$

Введемо безрозмірні відхилення:

$$v = \frac{\Delta v}{v_n}; P_{\kappa 1} = \frac{\Delta P_{\kappa 1}}{P_{\kappa n}}; \sum r_{ci} = \frac{\Delta \sum R_{ci}}{\sum R_{cn}},$$

де:  $\Delta v, \Delta P_{\kappa 1}, \Delta R_{ci}$ ;  $v_n, P_{\kappa n}, \sum R_{cn}$  – відповідно абсолютні відхилення і номінальні значення швидкості агрегату, рушійної сили і сил опору.

Після перетворення (4) отримаємо диференціальне рівняння поступального руху машинно-тракторного агрегату в безрозмірному вигляді

$$(T_v p + 1)v = K_v F, \quad (5)$$

де:  $p$  – оператор, який замінює символ диференціювання ( $d/dt$ );

$$T_v = \frac{m_{a2}}{\frac{\partial \sum R_c}{\partial v} - \frac{\partial P_{\kappa}}{\partial v}} - \text{постійна часу тракторного агрегату, с;}$$

$$K_v = \frac{P_{\kappa H}}{\frac{\partial \sum R_c}{\partial v} - \frac{\partial P_{\kappa}}{\partial v}} - \text{коефіцієнт підсилення тракторного агрегату по}$$

швидкості;

$F = P_{\kappa i} - \sum R_{ci}$  – регулюючий вплив на тракторний агрегат (зміна кількості та якості палива, що надходить у двигун внутрішнього згорання, перемикання передач, тощо).

Рішення рівняння (5) для розгону трактора має вигляд:

$$v = v_0 e^{-\frac{t}{T_v}} + v_y \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_v}} \right), \quad (6)$$

де:  $v_0, v_y$  – відповідно початкова і усталена швидкості руху агрегату.

Графіки даної функції для розгону агрегату показані на рис. 1.

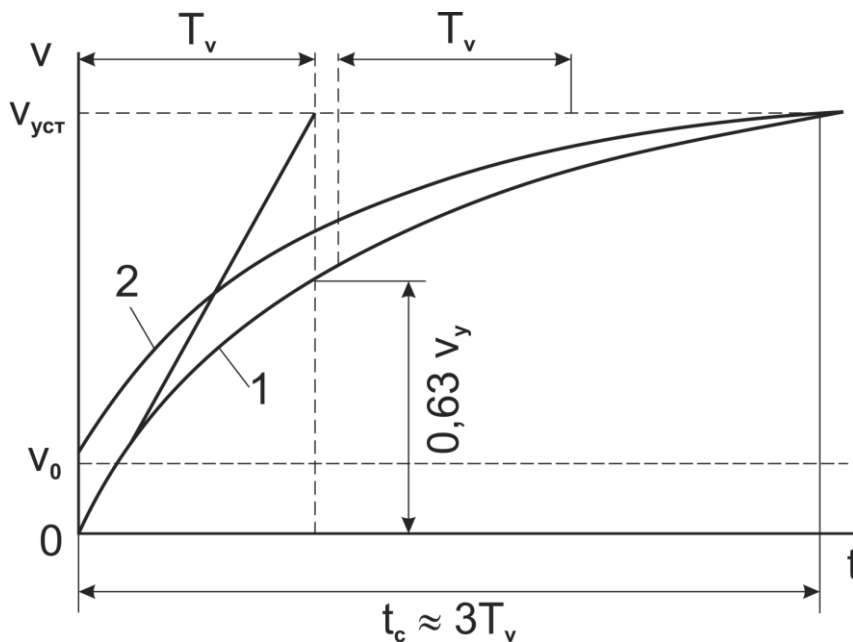


Рис. 1 – Залежність швидкості поступального руху при розгоні трактора:

1 – при нульовій (початкової) швидкості; 2 – при деякому значенні первісної швидкості

Постійна часу  $T_v$  характеризує запізнювання відхилення швидкості тракторного агрегату щодо відхилення сил опору його руху і рушійних сил. Вона залежить від маси агрегату, сил опору і тягових показників трактора. Тягові властивості трактора, тобто  $T_v$  різна для різних тракторних агрегатів.

Навіть для одного і того ж агрегату  $T_v$  буде відрізнятися, якщо він працює з несталим навантаженням або на різних швидкісних режимах

Для пояснення цього положення визначимо  $T_v$  при оранці стерні озимих на глибину 25-27 см трактором ХТЗ-17221 в агрегаті з плугами ПЛН-5-35 і ПЛН-6-35. З цією метою вираз постійної часу запишемо в зручному для практичного використання вигляді

$$T_v = \frac{m_T + m_M}{\xi \left( \frac{\partial \sum R_c}{\partial v} - \frac{\partial P_K}{\partial v} \right)}, \quad (7)$$

де:  $m_T, m_M$  – маса, відповідно, трактора і сільськогосподарської машини;  
 $\xi$  – коефіцієнт, що залежить від інерції оберткових мас у тракторному агрегаті.

Розглянемо випадок, коли сила тяги трактора не залежить від швидкості і залишається постійною при зміні опору руху агрегату. Практично такого випадку при оранці трактором ХТЗ-17221 не спостерігається, але зміни швидкості трактора із зміною сили тяги в межах нормального його завантаження незначні, ними можна знехтувати ( $\partial P_K / \partial v = D$ ). Для даного випадку постійну часу тракторного агрегату можна записати у вигляді

$$T_v = \frac{m_T + m_M}{\xi \cdot \frac{\partial \sum R_c}{\partial v}} \quad (8)$$

Параметри  $m_T, m_M, \xi$  даної залежності можна прийняти постійними (експлуатаційна маса трактора ХТЗ-17221 – 8760 кг, маса плугів ПЛН-5-35 – 900 кг та ПЛН-6-35 – 1230 кг) значення коефіцієнта обліку оберткових мас тракторів серії Т-150К  $\xi$  – 20 Н [4]. Параметр  $\frac{\partial R_c}{\partial v}$  змінюється в залежності від режимів роботи трактора. Для визначення даного параметру запишемо тяговий опір плуга з раціональної формули В.П. Горячкіна

$$\sum R_c = f_{nl} m_{nl} + K'_o a_o B_o + \xi_o a_o B_o v^2, \quad (9)$$

де:  $f_{nl}$  – приведений коефіцієнт тертя плуга в борозні;  
 $m_{nl}$  – маса плуга, кг;  
 $K'_o$  – Питомий опір поперечного перерізу пласта ґрунту деформації, кН/м<sup>2</sup>;  
 $a_o$  – глибина оранки м;  
 $\xi_o$  – коефіцієнт, що залежить від форми відвалу і властивостей ґрунту, кН·с<sup>2</sup>/м;  
 $B_o$  – ширина плуга, м;  $v$  - швидкість руху плуга, м/с.

Оскільки перші два члени керування (9) не залежать від швидкості, то залежність зміни опору плуга від швидкості можна записати у вигляді

$$\frac{\partial \sum R_c}{\partial v} = 2\xi_o a_o B_o v \quad (10)$$

Зазвичай приймають  $\xi_o = 0,08 K'_o$  [6]. В даному випадку значення похідної опору плуга по швидкості руху в точці усталеного режиму можна записати у вигляді

$$\frac{\partial \sum R_c}{\partial v} = 0,16 \cdot K'_o a_o B_o v \quad (11)$$

При агрегуванні трактора ХТЗ-17221 з плугами ПЛН-5-35 ( $B_o = 175$  см) та ПЛН-6-35 ( $B_o = 210$  см) при оранці стерні озимих з питомим опором ґрунту  $K'_o = 50$  кН/м<sup>2</sup> на глибину  $a_o = 0,27$  м залежність (11) записується у вигляді:

$$\text{ПЛН-5-35} - \frac{\partial \sum R_c}{\partial v} = 378 v; \quad \text{ПЛН-6-35} - \frac{\partial \sum R_c}{\partial v} = 453,6 v.$$

При підвищенні енергоємності оранки, наприклад при оранці цілини  $K'_o = 70$  кН/м<sup>2</sup>, має  $\partial \sum R_c / \partial v$  при агрегуванні трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35 – 592,2 v, з плугом ПЛН-6-35 – 635 v.

Результати розрахунку по залежності (8) постійної часу  $T_v$  тракторного агрегату при виконанні орних робіт наведено на рис. 2.

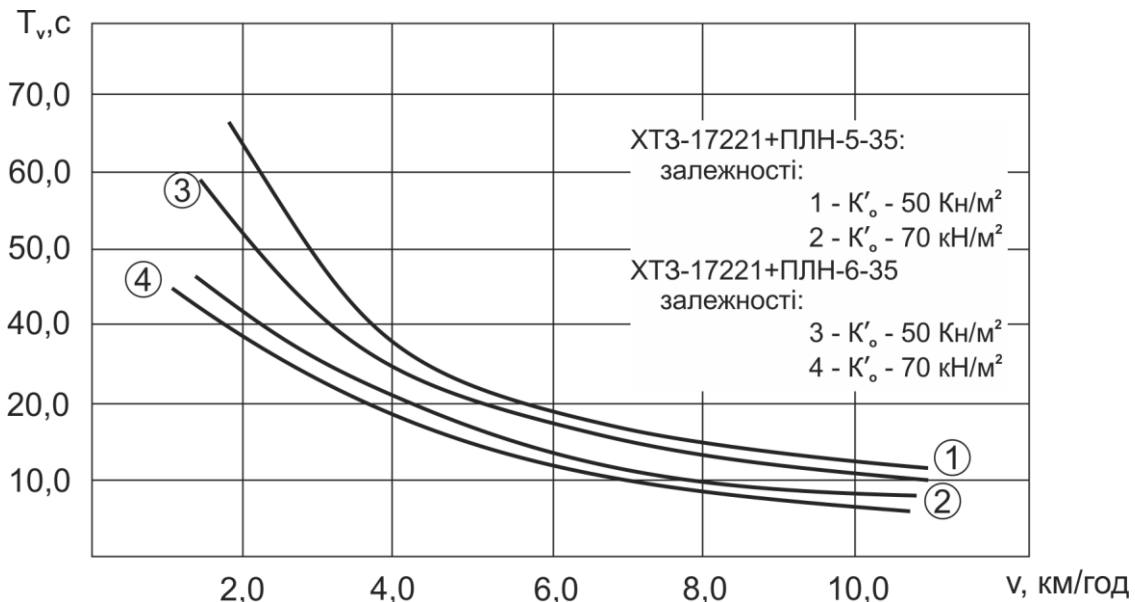


Рис. 2 – Вплив швидкості руху  $V$  на постійну часу  $T_v$  орного агрегату

Аналіз залежності постійної часу  $T_v$  від швидкості  $V$  руху орного агрегату показує, що зі збільшенням  $V$  зменшується  $T_v$ , особливо різко на малих швидкостях. В інтервалі швидкостей руху (6,0-9,0) км/год, при якому

виконуються орні роботи, агрегат більш чутливий до змін опору руху, ніж при знижених швидкостях.

Постійна часу агрегату знижується і при збільшенні енергоємності виконання, наприклад, для агрегату ХТЗ-17221 + ПЛН-5-35 при швидкості руху 8 км/год на оранці стерні озимих при питомому тяговому опорі плуга  $K'_o = 50$  кН/м<sup>2</sup> маємо  $T_v = 16,0$  с, а на оранці цілини  $K'_o = 70$  кН/м<sup>2</sup> маємо  $T_v = 10,2$  с.

Коефіцієнт підсилення тракторного агрегату  $K_v$  зі збільшенням швидкості або енергоємності технологічної операції зменшується. Закономірності зміни  $K_v$  аналогічні зміні  $T_v$ .

**Висновки.** Динамічні параметри тракторного агрегату, що характеризують запізнювання відхилення швидкості щодо відхилення сил опору його руху і рушійних сил, з підвищенням швидкості агрегату зменшуються особливо інтенсивно на малих швидкостях. Даний параметр також зменшується при підвищенні енергоємності виконуваного технологічного процесу.

### Список використаних джерел

1. Вейц, В.Л. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания [Текст] / В.Л. Вейц, А.Е. Качура. – М.: Машиностроение, 1976. – 382 с.
2. Свирщевский, А.Б. Технологические основы автоматизации сельскохозяйственного производства [Текст] / А.Б. Свирщевский. С.П. Гельфенбейн. – М.: Колос, 1965. – 425 с.
3. Барский, И.В. Динамика трактора [Текст] / И.В. Барский, В.Я. Анилович, Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
4. Ксеневич, Н.П. Системы автоматического управления трансмиссиями тракторов [Текст] / Н.П. Ксеневич, В.П. Тарасик. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
5. Александров, Е.Е. Динамика транспортного-тяговых колесных и гусеничных машин [Текст] / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич и др. – Х.: Изд-во ХГАТУ, 2006. – 642 с.
6. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороход. – М.: Колос, 1996. – 342 с.

### Аннотация

#### **НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА**

Лебедев А., Шуляк М., Кот А.

*Обоснована нестабильность динамических параметров поступательного движения тракторного агрегата при изменении скорости его движения и энергоёмкости технологической операции.*

## **Abstract**

### **INSTABILITY OF DYNAMIC PARAMETERS TRANSLATIONAL MOTION TRACTOR MACHINERY**

A. Lebedev, M. Shulyak, A. Kot

*Proved unstable dynamic parameters of translational motion of the tractor unit by changing the speed of its movement and energy technology operations.*